

REPUBLIK DEUTSCHLAND



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

103 01 548.5

**Anmeldetag:**

16. Januar 2003

**Anmelder/Inhaber:**

Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen/DE

**Bezeichnung:**

Verzögerungsplatte

**IPC:**

G 02 B 1/00

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 16. Dezember 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident  
Im Auftrag

Agurks

PATENTANWÄLTE

DR. ULRICH OSTERTAG

DR. REINHARD OSTERTAG

EIBENWEG 10 D-70597 STUTTGART

TEL. +49-711-766845

FAX +49-711-7655701

---

Verzögerungsplatte

---

Anmelderin: Carl Zeiss SMT AG  
Carl-Zeiss-Str. 22  
73446 Oberkochen

Anwaltsakte: 8483.3

## Verzögerungsplatte

=====

Die Erfindung betrifft eine Verzögerungsplatte mit einer  
05 doppelbrechenden Kristallplatte, die eine Eintrittsfläche  
und eine Austrittsfläche für ein- bzw. austretendes  
Licht aufweist.

Als Verzögerungsplatten oder auch Phasenplatten bezeichnet  
10 man optisch doppelbrechende planparallele Platten, die  
im allgemeinen aus einem optisch einachsigen Kristall  
bestehen. Die Oberflächen der Verzögerungsplatte stehen  
parallel zur optischen Achse des Kristalls, so daß eine  
senkrecht auftreffende Welle in zwei orthogonal zueinander  
15 schwingende Wellen mit einer von der Plattendicke abhängi-  
gen Phasendifferenz aufgespalten wird. Hinter der Verzöge-  
rungsplatte setzt sich das Licht zu einem Polarisationszu-  
stand zusammen, der von der Plattendicke abhängt. Ist  
diese beispielsweise so gewählt, daß die Phasendifferenz  
20 einem Viertel der Wellenlänge des einfallenden Lichts  
entspricht, so bezeichnet man die Verzögerungsplatte  
als Lambda-Viertel-Plättchen, das linear polarisiertes  
Licht in elliptisch oder zirkular polarisiertes Licht  
umwandelt und umgekehrt. Beträgt die durch die Verzöge-  
25 rungsplatte eingeführte Phasendifferenz zwischen den  
Polarisationsrichtungen hingegen eine halbe Wellenlänge,  
so spricht man von einem Lambda-Halbe-Plättchen, das z.  
B. verwendet werden kann, um die Händigkeit elliptisch  
oder zirkular polarisierten Lichts zu invertieren.

30  
Eingesetzt werden Verzögerungsplatten beispielsweise  
in katadioptrischen Projektionsobjektiven mikrolithogra-  
phischer Projektionsbelichtungsanlagen. Derartige Anlagen  
werden inzwischen mit so kurzwelligem Ultraviolettlicht  
35 betrieben, daß zahlreiche doppelbrechende Kristalle

wegen zu hoher Absorption als Material für die Verzögerungsplatten nicht mehr in Betracht kommen.

Grundsätzlich geeignet für diesen Wellenlängenbereich ist  
05 Magnesiumfluorid, das allerdings eine so hohe Doppelbrechung aufweist, daß sehr hohe Anforderungen an die Herstellungstoleranzen gestellt werden müssen. Geringste Abweichungen von der Solldicke führen nämlich zu einer bereits spürbaren Abweichung von der angestrebten Phasendifferenz zwischen den orthogonalen Polarisationsrichtungen.  
10 Aufgrund der hohen Doppelbrechung von Magnesiumfluorid ist es außerdem technologisch schwierig, Verzögerungsplatten nullter Ordnung herzustellen, bei denen die eingeführte Phasendifferenz exakt  $\Lambda/4$  und nicht etwa  
15  $(n+1/4) \cdot \Lambda$  beträgt mit  $n=1, 2, \dots$ . Derartige Verzögerungsplatten nullter Ordnung sind nämlich so dünn, daß sowohl ihre Herstellung als auch die Handhabung in optischen Geräten erhebliche Probleme aufwirft. Verzögerungsplatten nullter Ordnung sind im allgemeinen deswegen  
20 bevorzugt, weil ihre Funktion weniger stark von dem Winkel abhängt, mit dem das Licht auf die Verzögerungsplatte fällt. Dieser Aspekt ist bei den oben erwähnten Projektionsobjektiven von besonderer Bedeutung, da diese häufig eine numerische Apertur von mehr als 0,3 aufweisen, so daß  
25 große Einfallswinkel auftreten können.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Verzögerungsplatte der eingangs genannten Art anzugeben, die für den Einsatz in mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlagen  
30 geeignet ist. Insbesondere soll die Verzögerungsplatte eine hohe Transparenz im ultravioletten Strahlungsbereich aufweisen, einfach herzustellen sowie handzuhaben und außerdem auch in hochaperturigen optischen Systemen einsetzbar sein.

35

Gelöst wird diese Aufgabe bei einer Verzögerungsplatte der eingangs genannten Art dadurch, daß die Kristallplatte aus einem Erdalkalimetall-Fluorid, insbesondere aus Flußspat, besteht und ihre optische Achse zumindest annä-

05 hernd in Richtung der  $\langle 110 \rangle$ -Kristallachse oder einer dazu äquivalenten Hauptkristallachse ausgerichtet ist, und daß auf der Eintritts- und/oder Austrittsfläche eine formdoppelbrechende Schichtstruktur aufgebracht ist.

- 10 Die Erfindung beruht einerseits auf der Erkenntnis, daß zahlreiche Erdalkali-Metall-Fluorid-Kristalle, z. B. Flußspat-Kristalle ( $\text{CaF}_2$ ) oder Bariumfluorid-Kristalle ( $\text{BaF}_2$ ), eine intrinsische Doppelbrechung bei Strahlausbreitung in Richtung der  $\langle 110 \rangle$ -Kristallachse aufweisen.
- 15 Die Doppelbrechung bei Strahlausbreitung entlang der anderen Kristallachsrichtungen ist hingegen klein. Da diese Kristalle im ultravioletten Wellenlängenbereich eine hohe Transparenz aufweisen, sind sie insbesondere für den Einsatz in Projektionsobjektiven mikrolithographischer Projektionsbelichtungsanlagen geeignet. Da auch
- 20 in der  $\langle 110 \rangle$ -Richtung die Doppelbrechung dieser Kristalle vergleichsweise klein ist, lassen sich damit Verzögerungsplatten nullter Ordnung herstellen, die nicht so dünn sind wie beispielsweise Verzögerungsplatten aus Magnesiumfluorid. Dadurch werden weniger hohe Anforderungen an die
- 25 Herstellungstoleranzen bezüglich der Plattendicke gestellt.

Ferner ist erkannt worden, daß bei formdoppelbrechenden Schichtstrukturen, wie sie z.B. aus der US 6 384 974 B1

30 bekannt sind, die Winkelabhängigkeit der doppelbrechenden Wirkung eine im Vergleich zu Erdalkali-Fluorid-Kristallen andere, nämlich im wesentlichen entgegengesetzte, ist. Während nämlich bei derartigen Kristallen - wie oben bereits erwähnt - die Doppelbrechung mit zunehmenden

35 Einfallswinkeln hin abnimmt, liegen die Verhältnisse bei

der formdoppelbrechenden Schichtstruktur gerade umgekehrt, d. h. die Doppelbrechung nimmt mit zunehmendem Einfallswinkel zu. Auf diese Weise wird die abnehmende Doppelbrechung der Kristalle bei größeren Einfallswinkeln zumindest  
05 teilweise durch die dann zunehmende Doppelbrechung der Schichtstruktur kompensiert. Bei geeigneter Auslegung der Schichten läßt sich sogar eine weitgehend winkelunabhängige Phasendifferenz zwischen orthogonal polsarisierten Komponenten des Lichts erzielen.

10

Damit ist eine derartige Verzögerungsplatte auch für sehr hochaperturige Objektive in Projektionsbelichtungsanlagen geeignet.

15 Die formdoppelbrechende Schichtstruktur kann als periodische Abfolge von mindestens zwei Schichten mit alternierenden Brechungsindices ausgeführt sein. Die Dicken der Schichten müssen dann kleiner als die Wellenlänge sein, für die die Verzögerungsplatte ausgelegt ist.

20 Vorzugsweise betragen die Dicken der Schichten weniger als  $1/5$  oder sogar  $1/10$  dieser Wellenlänge. Je kleiner nämlich die Dicken der Schichten im Vergleich zur Wellenlänge des einfallenden Lichts sind, desto eher wirkt die Schichtstruktur für einfallendes Licht wie ein homo-  
25 genes einachsigt doppelbrechendes Medium. Bevorzugt ist es außerdem, wenn alle Schichten die gleiche Dicke haben.

Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnung erläutert. Darin zeigen:

30

Figur 1 eine scheibenförmige Verzögerungsplatte in einem Schnitt entlang ihrer Symmetrieachse;

Figur 2 ein Brechungsindex-Ellipsoid für eine Schicht-  
35 struktur, die Bestandteil der in Figur 1 gezeigten

Verzögerungsplatte ist.

- Figur 1 zeigt eine insgesamt mit 10 bezeichnete Verzögerungsplatte in einem Schnitt entlang ihrer Symmetrieachse.
- 05 Die Verzögerungsplatte 10 weist eine Flußspat-Kristallplatte 12 auf, deren mit 11 angedeutete optische Achse zumindest annähernd in Richtung der  $\langle 110 \rangle$ -Kristallachse ausgerichtet ist.
- 10 Auf der Ober- und der Unterseite 13 bzw. 15 der scheibenförmigen Flußspat-Kristallplatte 12 sind eine obere dielektrische Schichtstruktur 14 bzw. eine untere dielektrische Schichtstruktur 16 aufgebracht. Wie in der vergrößerten Darstellung in Figur 1 erkennbar ist, besteht
- 15 die untere Schichtstruktur 16 aus einer Abfolge von sechs dielektrischen Schichten 161, 162, ..., 166 mit alternierendem Brechungsindex. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel haben die Schichten 161, 163 und 165 einen ersten Brechungsindex  $n_1$ , während die Schichten 162, 164 und
- 20 166 einen zweiten Brechungsindex  $n_2$  haben, der sich von dem Brechungsindex  $n_1$  unterscheidet. Alle Schichten 161, 162, ..., 166 haben die gleiche Dicke  $d$ , die bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel  $1/10$  der Wellenlänge des einfallenden Lichts beträgt. Falls die Verzögerungs-
- 25 platte 10 beispielsweise für Ultraviolettlicht der Wellenlänge  $\lambda = 153$  nm ausgelegt ist, so beträgt die Dicke  $d$  nur etwa 15 nm. Aus Gründen der Erkennbarkeit ist folglich die Dicke der einzelnen Schichten 161 bis 166 in Figur 1 deutlich übertrieben dargestellt.
- 30 Die untere Schichtstruktur 16 ist aufgrund der alternierenden Abfolge von Schichten 161 bis 166 mit hohem und niedrigem Brechungsindex formdoppelbrechend. Dies bedeutet, daß die untere Schichtstruktur 16 bei schräg zu den Schicht-
- 35 ebenen einfallendem Licht je nach Polarisationsrichtung

des Lichts einen unterschiedlichen Brechungsindex aufweist. Figur 2 zeigt ein Brechungsindex-Ellipsoid für die untere Schichtstruktur 16. Daraus wird deutlich, daß Licht, das parallel zu den Schichtebenen polarisiert ist, dem Brechungsindex  $n_o$  für den ordentlichen Strahl ausgesetzt ist, während Licht, das senkrecht zu den Schichtebenen polarisiert ist, dem Brechungsindex  $n_e$  für den außerordentlichen Strahl ausgesetzt ist, wobei  $n_e < n_o$  gilt.

Der Zusammenhang zwischen den Brechungsindizes  $n_e$  und  $n_o$  einerseits und den Brechungsindizes  $n_1, n_2$  der Schichten 161, 162, ..., 166 sowie der Schichtdicke  $d$  andererseits ist z. B. in der oben bereits erwähnten US 6 384 974 B1 beschrieben.

15

Da senkrecht auf die Schichtstruktur einfallendes Licht stets parallel zu den Schichtebenen polarisiert ist, ist die untere Schichtstruktur 16 für einen solchen Lichtstrahl nicht doppelbrechend. Je größer jedoch der

Winkel zwischen den Schichtebenen und dem durchtretenden Licht ist, desto stärker wirkt die untere Schichtstruktur 16 - zumindest für unpolarisiertes oder zirkular polarisiertes Licht - doppelbrechend.

Die obere Schichtstruktur 14 ist genau so aufgebaut wie die untere Schichtstruktur 16, so daß die vorstehenden Ausführungen hier entsprechend gelten.

In Figur 1 ist die doppelbrechende Wirkung der oberen und unteren Schichtstrukturen 14 bzw. 16 sowie der Flußspat-Kristallplatte 12 für zwei linear polarisierte Lichtstrahlen 22 und 24 stark schematisierend veranschaulicht. Der Lichtstrahl 22 fällt dabei so auf die Eintrittsfläche 18 der Verzögerungsplatte 10 auf, daß er die obere Schichtstruktur 14 senkrecht durchtritt. Wie vorstehend erwähnt,



ist der Lichtstrahl 22 aufgrund dieses senkrechten Durchtritts keiner Doppelbrechung in der oberen Schichtstruktur 14 ausgesetzt. In Folge dessen kommt es dort auch nicht zu einer Aufspaltung der Wellenfronten. Sobald die Wellenfronten jedoch in die Flußspat-Kristallplatte 12 eintreten, spaltet sich die einfallende Welle in der für die Doppelbrechung typischen Weise in eine ordentliche und eine außerordentliche Welle auf, die in Figur 1 als gestrichelt bzw. gepunktet dargestellte Wellenfronten veranschaulicht sind. Diese Aufspaltung der Wellenfronten und die damit einhergehende Vergrößerung der Phasendifferenz ist beendet, sobald die Wellenfronten in die untere Schichtstruktur 16 eintreten, da dort der Strahl 22 keiner Doppelbrechung ausgesetzt ist. Der austretende Strahl 22 weist zwischen den beiden senkrecht zu einander polarisierten Komponenten entsprechend der Dicke der Schicht 12 die gewünschte Phasendifferenz von  $\Lambda/4$  oder  $\Lambda/2$  auf.

Der zweite Strahl 24 ist gegenüber dem ersten Strahl 22 so geneigt, daß er unter einem großen Winkel auf die Eintrittsfläche 18 der Verzögerungsplatte 10 auftritt. Bei diesem Einfallswinkel wirken sowohl die obere als auch die untere Schichtstruktur 14 bzw. 16 stark doppelbrechend, während die dazwischenliegende Flußspat-Kristallplatte 12 bei diesem Einfallswinkel kaum noch doppelbrechend ist. Die durch die obere Schichtstruktur 14 eingeführte Aufspaltung der Wellenfronten bleibt daher beim Durchtritt durch die Flußspat-Kristallplatte 12 weitgehend erhalten, bis es in der unteren Schichtstruktur 16 zu einer weiteren Aufspaltung der Wellenfronten kommt. Wie in Figur 1 erkennbar ist, sind die Schichtstrukturen 14 und 16 so ausgelegt, daß die gesamte Aufspaltung der Wellenfronten, d. h. die durch die Verzögerungsplatte 10 eingeführte Phasendifferenz für die unterschiedlichen Polarisationsrichtungen, bei dem schräg zur optischen

Achse 11 einfallenden Strahl 24 annähernd der Phasendifferenz entspricht, die durch die Verzögerungsplatte 10 bei dem senkrecht zur optischen Achse 11 einfallenden Strahl 22 eingeführt wurde. Auf diese Weise ermöglicht es die Verzögerungsplatte 10, eine annähernd konstante Phasendifferenz für Lichtstrahlen über einen großen Einfallswinkelbereich hinweg zu erzeugen.

## Patentansprüche

=====

- 05 1. Verzögerungsplatte mit einer doppelbrechenden Kristall-  
platte (12), die eine Eintrittsfläche (13) und eine  
Austrittsfläche (15) für ein- bzw. austretendes Licht  
(22, 24) aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Kristall-  
platte (12) aus einem Erdalkalimetall-Fluorid, insbeson-  
dere aus Flußspat, besteht und ihre optische Achse (11)  
10 zumindest annähernd in Richtung der  $\langle 110 \rangle$ -Kristallachse  
oder einer nahezu äquivalenten Hauptkristallachse ausgerich-  
tet ist, und daß auf der Eintritts- und/oder der Austritts-  
fläche (13, 15) eine formdoppelbrechende Schichtstruktur  
(14, 16) aufgebracht ist.
- 15 2. Verzögerungsplatte nach Anspruch 1, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die formdoppelbrechende Schichtstruktur  
(14, 16) als periodische Abfolge von mindestens zwei  
dielektrischen Schichten (161, 162, ..., 166) mit alter-  
20 nierenden Brechungsindices ausgeführt ist.
3. Verzögerungsplatte nach Anspruch 2, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Dicken (d) der Schichten (161, 162,  
..., 166) kleiner als die Wellenlänge sind, für die  
25 die Verzögerungsplatte ausgelegt ist.
4. Verzögerungsplatte nach Anspruch 3, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Dicken (d) der Schichten (161, 162,  
..., 166) kleiner als  $1/5$ , vorzugsweise kleiner als  
30  $1/10$ , der Wellenlänge sind, für die die Verzögerungsplatte  
ausgelegt ist.
5. Verzögerungsplatte nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß alle Schichten  
AUN.275-092 35 (161, 162, ..., 166) die gleiche Dicke (d) haben.

## Zusammenfassung

=====

Eine Verzögerungsplatte (10) umfasst eine doppelbrechende  
05 Kristallplatte (12), die eine Eintrittsfläche (13) und  
eine Austrittsfläche (15) für ein- bzw. austretendes Licht  
aufweist. Die Kristallplatte (12) besteht aus einem Erd-  
alkalimetall-Fluorid, insbesondere aus Flußspat. Ihre  
optische Achse (11) ist zumindest annähernd in Richtung  
10 der  $\langle 110 \rangle$ -Kristallachse oder einer dazu äquivalenten  
Hauptkristallachse ausgerichtet. Auf der Eintritts- oder  
Austrittsfläche (13, 15) ist eine formdoppelbrechende  
dielektrische Schichtstruktur (14, 16) aufgebracht. Dabei  
kann es sich z. B. um eine periodische Abfolge von minde-  
15 stens zwei Schichten (161, 162, ..., 166) mit alternie-  
renden Brechungsindices handeln. Die Verzögerungsplatte (10)  
ist für Ultraviolettlicht geeignet und ermöglicht einen  
großen Einfallswinkelbereich.

20 (Figur 1)

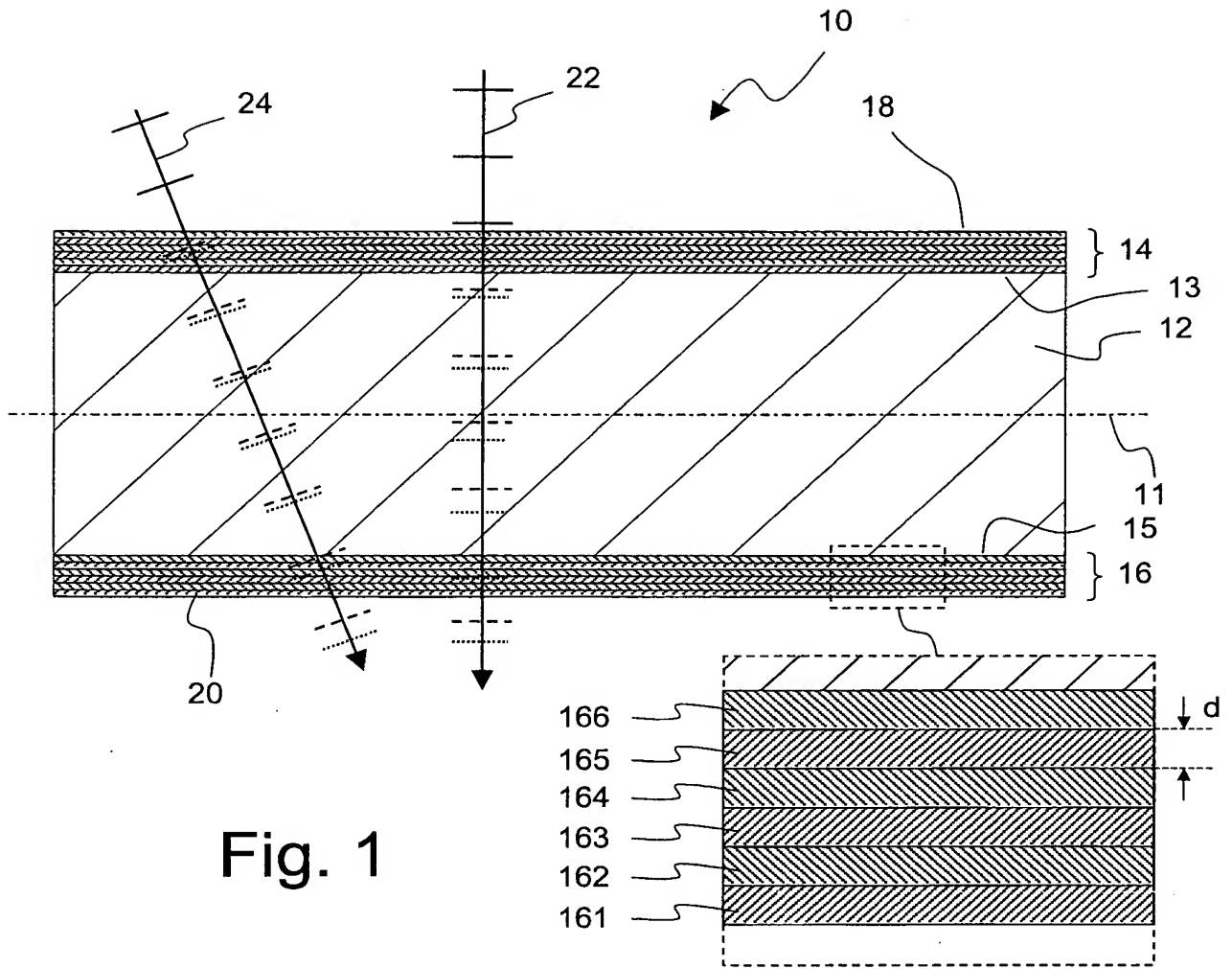


Fig. 1

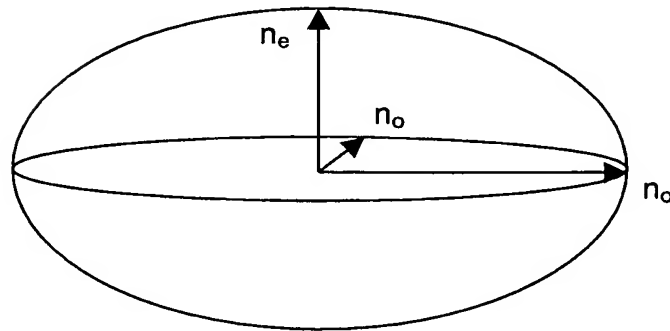


Fig. 2